

## 近地強震記録の逆解析による2016年熊本地震の3地震の震源過程

### Source Processes of three large events of the 2016 Kumamoto Earthquakes Inferred from Waveform Inversion with Strong-Motion Records

\*吉田 邦一<sup>1</sup>、宮腰 研<sup>1</sup>、染井 一寛<sup>1</sup>

\*Kunikazu Yoshida<sup>1</sup>, Ken Miyakoshi<sup>1</sup>, Kazuhiro Somei<sup>1</sup>

1.一般財団法人 地域 地盤 環境 研究所

1.Geo-Research Institute

#### ■はじめに

熊本県の熊本市から阿蘇山にかけての帯では、2016年4月14日に、Mj6.5の地震を皮切りに、翌15日にMj6.4、さらに16日にはMj7.0の主要な地震と数多くの余震が連続して発生し、それらの地震で2回の震度7を含む強震動により大きな被害が発生した。ここでは、強震記録をもとにこれら3つの地震の震源過程を逆解析で推定した。

#### ■震源過程の解析

3地震の解析で共通している条件を示す。解析には、防災科研K-NET, KiK-net (地中)の加速度記録を用いた。加速度記録には周期1.25-20秒 (0.05-0.8 Hz) のバンドパスフィルターをかけたうえで積分して、速度波形とした。

速度構造モデルには、最表層はPS検層の結果を簡略化したものを、検層より深いところでは観測点直下のJ-SHISによるモデルを、さらにJ-SHISモデルで $V_p$ が5 km/s以上となる深度以深を人工地震探査による結果(安藤・他, 2003)を参照してモデルを作成した。理論グリーン関数は、離散化波数法(Bouchon, 1981)と反射・透過係数行列法(Kennett and Kerry, 1979)により求めた。断層面を空間方向には小断層に分割し、時間方向には0.6秒間隔でパルス幅1.2秒のスムーズランプ関数を複数個並べて、時空間的に離散化して、理論波形を計算した。逆解析にはマルチタイムウィンドウバージョン法(Hartzell and Heaton, 1983)を用いた。断層面の平滑化係数はABIC最小を示す震源モデルのものとした。第1タイムウィンドウ伝播速度  $V_{FT}$  を1.8~2.5 km/sの範囲で震源モデルを求め、残差が極小となったものを最適解とした。

□4/14 21:26に発生した地震 (Mj6.5) 断層面は、F-netによるメカニズム解をもとに日奈久断層に沿うように設定し、北端を布田川断層との交点付近に設定した。解析では断層面の大きさを長さ・幅共に14 kmとし、タイムウィンドウを3個設定した。解析で得られた結果は、断層面全体の $M_0$ は $1.6 \times 10^{18}$  Nm (Mw 6.1), 最大すべり量が0.8 m, 平均すべり量は0.3 mであった。 $V_{FT}$ は2.0 km/sが最適解を示した。アスペリティが破壊開始点近傍と北端の2か所に求められた。ただし、波形の再現性にはまだ課題があり、特にKiK-net益城観測点の波形が再現できていないことが課題である。

□4/15 00:03の地震 (Mj6.4) 断層面は、F-netによるメカニズム解をもとに日奈久断層に沿うように設定し、4/14のMj6.5の地震の南側に設定した。解析では断層面の大きさを長さ12 km, 幅9.6 kmとし、タイムウィンドウを3個設定した。解析で得られた結果は、断層面全体の $M_0$ は $1.0 \times 10^{18}$  Nm (Mw 5.9), 最大すべり量が0.9 m, 平均すべり量が0.3 mであった。 $V_{FT}$ は2.0 km/sが最適解を示した。アスペリティが破壊開始点のやや南側に求められた。また、破壊開始点付近に、すべり量は小さいものの、最大モーメントレートの大きな領域(HRA; 吉田・他, 2012, 地震学会)が見られた。

□4/16 01:25の地震 (Mj7.3) この地震では、破壊開始点として気象庁一元化震源をもとに設定し、走向、傾斜角を断層面上端が布田川断層に沿うように、走向N236°E, 傾斜88°とした。断層面の長さは34 km, 幅は18 kmとし、タイムウィンドウを6個設定した。解析で得られた結果は、断層面全体の $M_0$ は $3.6 \times 10^{19}$  Nm (Mw 7.0), 最大すべり量が4.5 m, 平均すべり量は1.8 mであった。 $V_{FT}$ は2.0 km/sが最適解を示した。アスペリティが破壊開始点の東側浅部に求められ、益城町から西原村にかけて多くの地表地震断層が報告された領域に対応する。

#### ■スケールング則

解析した3地震の平均すべり量と地震モーメントを比較すると、ほぼSomerville et al. (1999)のスケールング則に対応する。また、アスペリティの面積とモーメントの比率では、Mj6.5とMj6.4の地震はスケールング則に

対応するが、Mj7.3の地震ではややアスペリティの面積が小さい。

■課題と今後

グリーン関数の精度を小地震を使うなどして改良する必要がある。その後、より確からしい震源モデルを求め、強震動予測のためのパラメータの改良に寄与する予定である。

■謝辞 防災科研K-NET, KiK-netのデータを用いました。本研究は平成28年度原子力施設等防災対策等委託費（地震動評価における不確かさの評価手法の検討）事業による成果の一部である。

キーワード：2016年熊本地震、震源過程、アスペリティ

Keywords: 2016 Kumamoto earthquake, source process, asperity

# Source Processes of three large events of the 2016 Kumamoto Earthquakes Inferred from Waveform Inversion with Strong-Motion Records

\*Kunikazu Yoshida<sup>1</sup>, Ken Miyakoshi<sup>1</sup>, Kazuhiro Somei<sup>1</sup>

## 1. Geo-Research Institute

We have investigated the source processes of three earthquakes in the 2016 Kumamoto earthquake sequence by the multi-time-window linear waveform inversion method using the strong-ground motion data. We analyzed the three largest earthquakes of Mj6.5 (21:26 on 14 Apr., JST), Mj6.4 (00:03 on 15 Apr., JST) and Mj7.3 (01:25 on 16 Apr., JST) in the sequence.

We used the strong-motion data obtained from K-NET and KiK-net. The data were windowed for 10-25 s, starting at P-wave arrival time, and band-pass-filtered between 0.05 to 0.8 Hz (period of 1.25-20 s) for waveform inversion. The accelerograms were integrated into ground velocities. Theoretical Green's functions are calculated using the discrete wavenumber method (Bouchon, 1981) and the Reflection/Transmission coefficient matrix method (Kennett and Kerry, 1979) using a stratified medium. We assumed individual one-dimensional velocity structure model for each station, which is made from PS-logging, J-SHIS, and the seismic refraction models. We use multi-time-window linear waveform inversion procedure (e.g., Hartzell and Heaton, 1983) in which the moment-release distribution is discretized in both space and time. The relative strength of the smoothing constraint and the first time-window front triggering velocity ( $V_{FT}$ ) were determined to minimize Akaike's Bayesian Information Criteria.

For Mj6.5 (Apr. 14) earthquake, a fault model along the Hinagu fault striking N211°E and dipping 88° is assumed. The total length and width of the fault plane is 14 km and 14 km. The fault plane is divided into subfaults of 2 km x 2 km. The moment function of each subfault is represented by a series of three smoothed ramp functions. The estimated source model has two asperities; one is located near the rupture starting point and another at the northern margin of the fault. Its largest slip is 0.8 m. The total seismic moment is  $1.6 \times 10^{18}$  Nm (Mw 6.1).

For Mj6.4 (Apr. 15) earthquake, a fault model along the Hinagu fault striking N211°E and dipping 86° is assumed. The total length and width of the fault plane is 12 km and 9.6 km. The fault plane is divided into subfaults of 1.2 km x 1.2 km. The moment function of each subfault is represented by a series of three smoothed ramp functions. The estimated source model has one asperity located near the rupture starting point. Its largest slip is 0.9 m. The total seismic moment is  $1.0 \times 10^{18}$  Nm (Mw 5.9).

For Mj7.3 (Apr. 16) earthquake, a fault model along the Futagawa fault striking N236°E and dipping 86° is assumed. The total length and width of the fault plane is 34 km and 18 km. The fault plane is divided into subfaults of 2 km x 2 km. The moment function of each subfault is represented by a series of six smoothed ramp functions. The estimated source model has one asperity located on approximately 10 km east to the rupture starting point. Its largest slip is 4.5 m. The total seismic moment is  $3.6 \times 10^{19}$  Nm (Mw 7.0). The average slip is 1.8 m.

Relationships of the estimated three earthquakes between average slip and seismic moment corresponds to the scaling law determined from previous earthquakes (Somerville et al., 1999). For Mj6.5 and Mj6.4 earthquakes, relation between the combined area of asperities and seismic moment corresponds to the scaling by Somerville et al. (1999), although the area of the asperity for the Mj7.3 earthquake is relatively small to the seismic moment.

Acknowledgements: We use the hypocentral information catalog of JMA, the moment tensor catalog by F-net, and the strong motion data from K-NET and KiK-net provided by NIED. This study was based on the 2016 research project 'Examination for uncertainty of strong ground motion prediction' by the

Nuclear Regulation Authority (NRA), Japan.

Keywords: 2016 Kumamoto earthquake, source process, asperity